

**НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ МЕТОДИКИ ЗАМЕРА И ОЦЕНКИ
ВИБРАЦИЙ РАБОЧИХ МЕСТ НА ПРОИЗВОДСТВЕ**

Л. В. НЕЧАЕВ

(Представлено проф. докт. В. К. Нечаевым)

В ряде производств (литейные цеха, заводы по изготовлению изделий из вибрированного бетона и т. д.) все большее распространение получают вибромашины различных типов. Работа таких машин сопровождается вибрацией фундамента, которая передается на рабочие места (пол цеха, настилы и пр.).

Вибрация рабочих мест проектными и конструкторскими организациями, связанными с проектированием, изготовлением и эксплуатацией вибромашин уделяется большое внимание. Так, например, проектирование и выполнение фундаментов под вибромашины должно производиться с учетом действующих динамических нагрузок и ограничения вибраций фундамента соответствующими нормами, имея в виду, что интенсивность вибраций рабочих мест в первую очередь зависит от вибраций фундамента [3, 4].

Однако очень часто по ряду причин (некоторые условности таких расчетных данных, как характер вибраций рабочих органов машины, упругие характеристики материала фундамента, появление непредусмотренных расчетом жестких связей) виброизоляция рабочих органов вибромашин оказывается недостаточной, вследствие чего действительные вибрации фундамента значительно превышают расчетные. Вибрация рабочих мест в этих условиях, как правило, оказывается чрезмерной, резко ухудшающей условия работы обслуживающего персонала [2].

В Советском Союзе действуют «Временные санитарные правила и нормы по ограничению вибраций рабочего места» [1]. Эти правила и нормы устанавливают предельные допустимые вибрации по величине абсолютных амплитуд колебаний рабочего места, а также по величине амплитуд скоростей и ускорений этих колебаний. В этих «Нормах...» даются и некоторые рекомендации по методике измерения вибраций и измерительной аппаратуре в применении к измерению вибраций на рабочих местах.

По просьбе Томского треста «Стройдеталь» сотрудниками кафедры ДВС Невструевым Е. Н., Нечаевым Л. В. под руководством проф. докт. Нечаева В. К. были проведены измерения и исследование характера вибраций рабочих мест на некоторых заводах железобетонных изделий в г. Томске.

При выполнении этой работы и оценке ее результатов, а также в отношении методики измерений мы руководствовались вышеуказанными нормами.

В результате проведенной работы по измерению и общему исследованию характера вибраций рабочих мест нами были отмечены некоторые недостатки рекомендуемой «Нормами...» методики измерения и допустимых норм, о чем подробно сказано в выводах данной статьи.

Измерения проводились на четырех заводах, где установлены вибромашины СМ-476 (с длинными — около 6 м — рамами) и вибростолы, каждый с двумя вибраторами типа С-413 (с короткими — около 2,5 м — рамами).

Вибрации измерялись на почве, деревянных и металлических настилах, закрывающих колодцы, в которых смонтированы вибромашины СМ-476, на подножках бетоноукладчиков, обслуживающих эти машины.

Измерение вибраций проводилось с помощью электродинамического датчика (сейсмического типа) и соответствующей электронной аппаратуры. Для получения возможно более полных и надежных результатов измерения нами параллельно были применены стрелочный прибор (ламповый милливольтметр МВЛ-3) и для записи виброграмм — шлейфовый осциллограф МПО-2.

Напряжение с электродинамического датчика перед подачей на стрелочный прибор и осциллограф усиливалось соответствующими ламповыми усилителями (2) и (5), имеющими прямолинейную частотную характеристику и усилителем мощности (6) с двухтактным выходом на лампах 6П6. Блок-схема измерительного тракта представлена на рис. 1¹⁾.

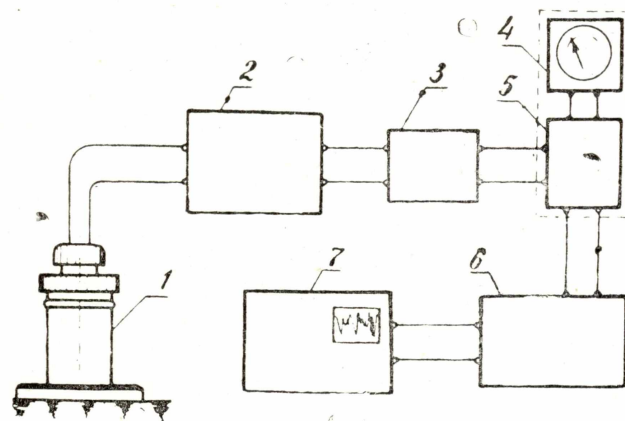


Рис. 1. Блок-схема измерительного тракта: 1 — электродинамический датчик, 2 — ламповый усилитель, 3 — интегрирующее и дифференцирующее устройства, 4 и 5 — милливольтметр МВЛ-3 с усилителем, 6 — усилитель мощности, 7 — шлейфовый осциллограф МПО-2.

В таком виде измерительная аппаратура позволяла измерить амплитуду скорости колебательного движения в месте установки датчика по показаниям стрелочного прибора и по виброграммам скорости вибраций, записанным на фотопленке осциллографом.

¹⁾ Монтаж измерительного тракта, а также изготовление электродинамического датчика и усилителя мощности (3) были выполнены Е. Н. Невструевым.

Учитывая, что в «Нормах...» оговариваются все три параметра-амплитуды перемещений, скорости и ускорений, в измерительный тракт между усилителями (2) и (5) были введены интегрирующее и дифференцирующее устройства (контуры RC), обеспечивающие измерения амплитуд скорости и ускорения колебаний по показаниям стрелочного прибора и запись соответствующих кривых на фотопленку. Частота колебаний определялась с помощью отметок времени, наносимых на каждой виброграмме и процессе записи вибраций от внутреннего отметчика времени, установленного в осциллографе МПО-2 и имеющего собственную частоту 500 гц.

Перед измерением и записью вибраций на рабочих местах в лаборатории кафедры ДВС была проведена тарировка датчика и сняты частотные и амплитудные характеристики датчика вместе со всем измерительным трактом на специальном вибрационном стенде, сконструированном и изготовленном на этой кафедре.

С конструктивной стороны вибрационный стенд представляет упругую балку, которая консольно закреплена одним концом на двух опорах (одна из опор имеет возможность перемещаться), а другим связана с электродинамическим возбудителем. Питание катушки подмагничивания возбудителя осуществляется от двухполупериодного селенового выпрямителя АВС-5 и автомобильного аккумулятора, соединенного с выпрямителем параллельно. Аккумулятор применялся нами в качестве своеобразного демпфера, сглаживающего пульсации магнитного поля катушки подмагничивания вибратора. Подвижная часть возбудителя представляет тонкостенный латунный стакан с намотанной из медной проволоки ($\Phi = 0,25$ мм, 180 витков) катушкой, питаемой от звукового генератора ЗГ-2А через усилитель КИНАП (от узкоплёночного проекционного киноаппарата «Украина»). Схема вибрационного стенда и примененной при тарировке аппаратуры показана на рис. 2.

Контроль амплитуд конца балки, на котором закреплялся датчик, осуществлялся с помощью оптической головки микроскопа Викарс, неподвижно закрепленной на станине вибростенда. На конце балки приклеивался кусочек лезвия безопасной бритвы, острая кромка которого была перпендикулярна оси объектива микроскопа и лежала в плоскости колебания конца балки. В действительности свободный конец балки при колебаниях описывает цилиндрическую поверхность. Однако при большой длине балки (около 1000 мм) и малых амплитудах колебаний (не более 0,7 мм) вполне допустимо считать, что конец балки при ее колебаниях движется в некоторой плоскости, перпендикулярной продольной оси балки.

Предварительно перед приклеиванием лезвие несколько раз окуналось в краску, и на мелком бруске слой краски снимался до металла. Только таким путем нам удалось получить метку-рисунок на балке (по которой и ведется отсчет амплитуд) шириной около 5 микрон. Это обстоятельство позволило измерять малые амплитуды с большей точностью.

В описываемом стенде для получения достаточных для отсчета величин амплитуд колебания балки в диапазоне частот 30—500 гц использован резонансный принцип работы, когда катушка возбудителя питается переменным током с частотой, близкой или равной собственной частоте упругого подвеса. Для обеспечения возможности тарировки датчика на различных частотах при работе стенда по этому принципу в нашем стенде предусмотрено: а) перемещаемая опора балки, обеспечивающая возможность изменения собственной частоты упругого подвеса (балки), б) применение балок различной жесткости.

Кроме перечисленных элементов и узлов в комплект вибростенда входят: измеритель частоты ИЧ-6 (для измерения частоты тока, пи-

тающего подвижную катушку возбуждителя), осциллограф ЭО-7 (для контроля формы э.д.с., вырабатываемой звуковым генератором и датчиком), стробоскоп (для контроля формы колебаний балки).

При тарировке датчика вместе с измерительным трактом нами были отмечены некоторые положительные качества описываемого стенда: а) надежность и простота конструкции; б) при консольном креплении упругого подвеса и работе вибростенда на резонансных и околорезо-

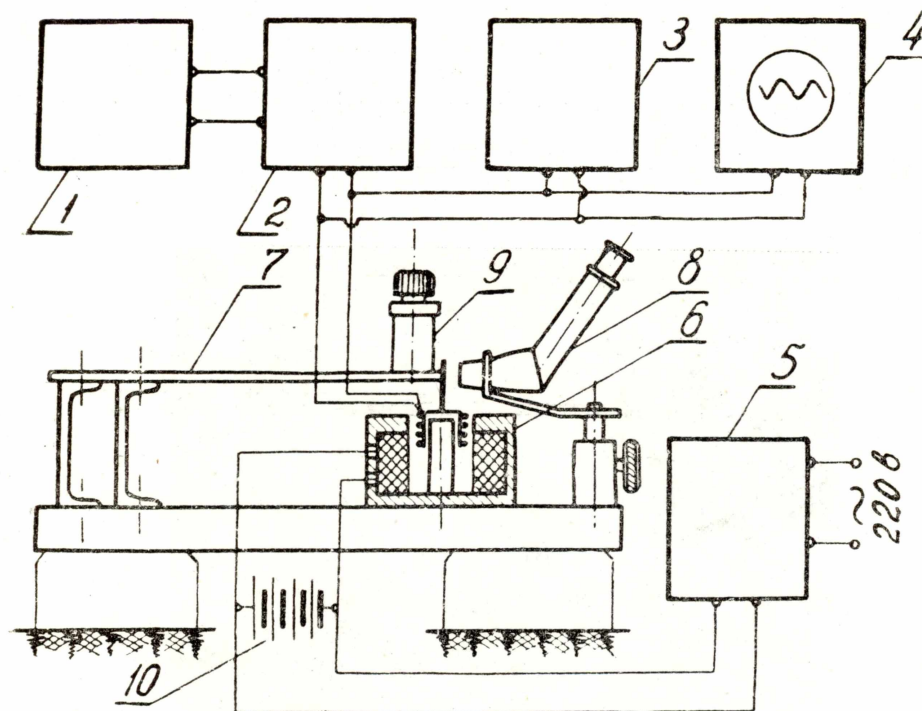


Рис. 2. Схема вибродатчика с аппаратурой для тарировки вибростенда: 1 — звуковой генератор ЗГ-2А, 2 — электронный широкополосный усилитель, 3 — измеритель частоты ИЧ-6, 4 — катодный осциллограф ЭО-7, 5 — селеновый двухполупериодный выпрямитель АВС-5, 6 — электродинамический вибратор, 7 — упругая балка, 8 — микроскоп, 9 — вибростенд, 10 — аккумулятор, 11 — массивная чугунная плита с опорами.

нансных частотах возбудитель потребляет незначительную мощность в диапазоне 30—500 гц и амплитудах колебаний конца балки 0,5—0,05 мм (в нашем случае затраты мощности не превышали 5—7 ватт).

Ниже приведены некоторые характеристики измерительного тракта:

собственная частота датчика—20—25 гц,

чувствительность датчика по скорости

при частоте вибраций 50 гц $\rho_V = 4,7 \frac{\text{мв сек}}{\text{см}}$,

то же при частоте вибраций 500 гц $\rho_V = 2,0 \frac{\text{мв сек}}{\text{см}}$,

чувствительность датчика по скорости, измеренная в мм амплитуды отклонения луча осциллографа на пленке при частоте вибраций

50 гц $\rho_V^0 = 0,89 \frac{\text{мв сек}}{\text{см}}$,

то же при частоте вибраций 500 гц $\rho_V^0 = 0,8 \frac{мв сек}{см}$.

Тарировка показала, что датчик вместе со всем измерительным трактом обладает хорошей прямолинейностью амплитудных характеристик.

Замеры и запись вибраций на рабочих местах проводились при работе только одной вибромашины, около которой производились замеры.

Обработка виброграмм и анализ показаний стрелочного прибора позволили сделать следующие выводы:

1. Вибрации рабочих мест в различных точках около виброплатформ в большинстве случаев имеют сложный, негармонический характер, особенно около виброплатформ с длинными рамами (рис. 3 а и б).

2. Вертикальные вибрации длинных рам не одинаковы по амплитуде и характеру в различных точках по длине рамы рис. 4 а и б, вибро-

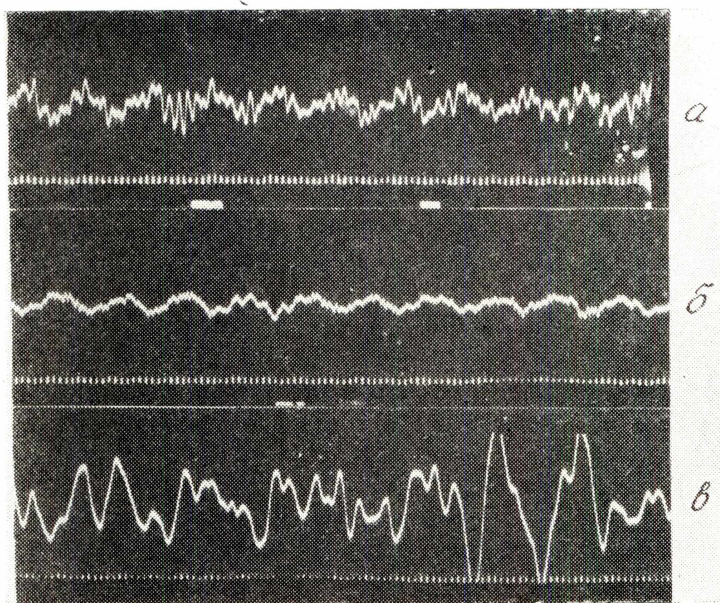


Рис. 3. Вибрации рабочих мест в различных точках около виброплатформ типа СМ-476 с длинной рамой: а) вибрации пола цеха около электромотора-вибратора у края виброплатформы, б) вибрации пола цеха около середины рамки виброплатформы, в) вибрации тонкого металлического листа, закрывающего с торцов колодец виброплатформы.

граммы сняты вибрографом ВР-1). Непостоянство характера и амплитуд вибраций длинных рам по их длине является, очевидно, следствием недостаточной их жесткости, что приводит к появлению значительных собственных колебаний рамы. Эта сложность вибраций рамы — вынужденные вибрации рамы в целом (как жесткого тела) и собственные колебания (как упругого тела) и являются одной из причин сложного, негармонического характера вибраций почвы и настилов около вибромашин с длинными рамами. Вполне естественно, что сложный характер вибраций длинных рам вибромашин значительно усложняет расчет и проектирование эффективной виброизоляции рабочих мест.

3. В табл. 1 указаны измеренные нами величины вибраций рабочих мест на вышеуказанных заводах, а в табл. 2 — допустимые параметры вибраций, взятые из «Временных санитарных правил и норм...» [1].

Из сравнения соответствующих параметров действительных вибраций с допустимыми можно заключить, что ряд мест имеет недопустимые вибрации по всем трем параметрам (например, металлические листы —

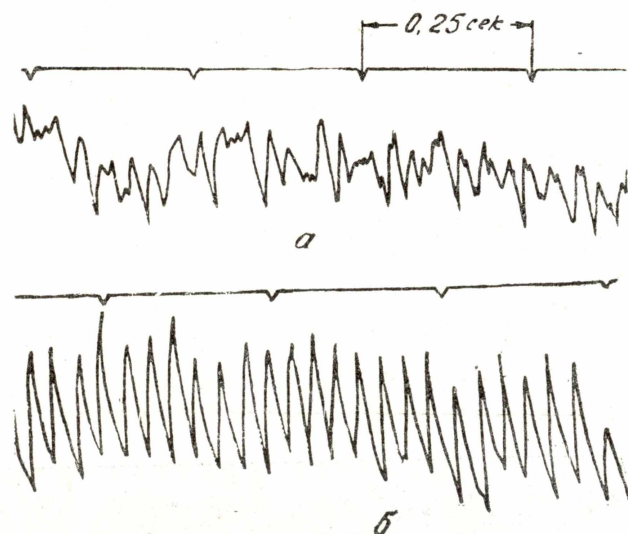


Рис. 4. Вибрации длинной рамы виброплатформы типа СМ-476 по длине: а) на краю рамы около стойки-опоры вкладышей для образования пустот в изделии, б) на середине рамы.

Таблица 1

Место измерения	Амплитуды при измерении по стрелочному прибору			Амплитуды при измерении по виброграммам		
	S мм	V $\frac{см}{сек}$	j $\frac{см}{сек^2}$	S мм	V $\frac{см}{сек}$	j $\frac{см}{сек^2}$
Металлические настилы	0,008— —0,25	0,4— —5,5	180— —1000	0,008— —0,3	0,18— —5,7	180— —1150
Пол цеха около виброплатформ	0,002— —0,006	0,033— —0,4	43— —550	0,002— —0,012	0,682— —0,74	43— —830
Подножка на раме бетоноукладчика (бункер полностью наполнен бетоном)	0,032	0,65	300	0,045	0,98	450
То же самое при пустом бункере	0,092	3,4	1650	0,135	4,55	до 6500

настилы); вибрации других мест недопустимы лишь по одному — двум параметрам.

4. Характер вибраций рабочего места и их величина в ряде случаев (например, подножка бетоноукладчика) зависят от нагрузки на вибромашину (в случае бетоноукладчика — от количества бетона в бункере, рис. 5 а и б).

5. Вибрации почвы и настилов в различных точках около одной вибромашины имеют различный характер и амплитуды (рис. 3 а и б).

Таблица Б

Частота, <i>гц</i>	Амплитуда, <i>мм</i>	Скорости колебательных движений, <i>см/сек</i>	Ускорения колебательных движений, <i>см/сек</i>
от 15 до 30	0,03—0,009	0,28—0,16	27—32
„ 30 „ 50	0,009—0,007	0,16—0,22	32—70
„ 50 „ 75	0,007—0,005	0,22—0,23	70—112
„ 75 „ 100	0,005—0,003	0,23—0,19	112—120

Примечание: Если продолжительность воздействия составляет 10—15% рабочего времени, то указанные в таблице амплитуды допускается увеличивать, но не более чем в 3 раза.

Характер вибраций почвы и настилов, как правило, различный (рис. 3 *а* и *в*).

Проведенная работа по измерению вибраций и исследованию их характера на рабочих местах заводов железобетонных изделий позволяет нам сделать следующие общие выводы о методике замера вибраций и необходимой для этого аппаратуре в применении к измерению

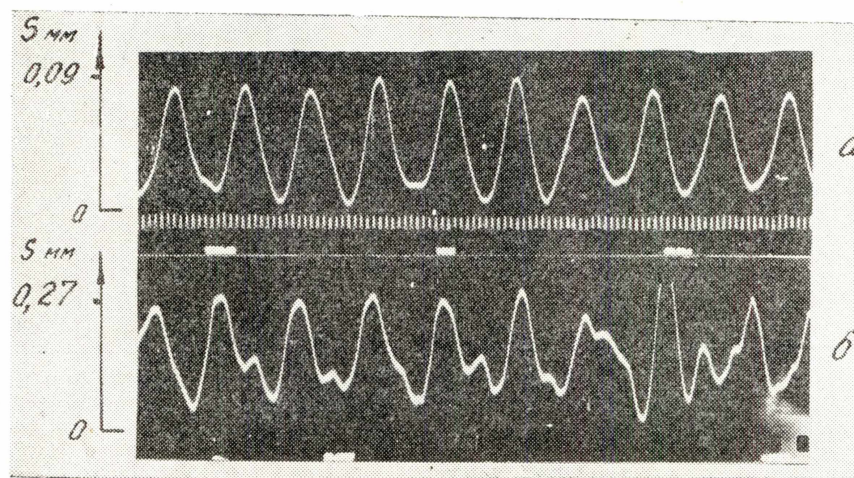


Рис. 5. Вибрации рамы бетоноукладчика:
а) бункер с бетоном, б) бункер без бетона.

на рабочих местах, а также некоторые замечания непосредственно по «Временным санитарным правилам...» [1].

1. Негармонический, сложный характер вибраций рабочих органов вибромашины, имеющих недостаточную жесткость (в нашем случае длинные рамы) указывает на то, что обычные расчеты фундаментов под вибромашины с учетом динамических нагрузок носят весьма приближенный характер, поскольку при этом собственные колебания нежестких элементов машины не принимаются во внимание. В связи с этим действительные амплитуды перемещения, скорости и ускорения могут значительно отличаться от расчетных, в большинстве случаев значительно превышая их. Это свидетельствует о безусловной необходимости проведения измерения вибраций рабочих мест на всех предприятиях, имеющих виброоборудование.

2. Использование в примененной нами аппаратуре стрелочного прибора для измерения амплитуд и осциллографа для записи кривых перемещения, скорости и ускорения вибраций показало, что между параметрами вибраций одной и той же точки, определенными по показа-

ниям стрелочного прибора и на основании обработки виброграмм, есть некоторая разница, тем бóльшая, чем больше характер вибраций в точке измерения отличается от гармонического (табл. 1). Это свидетельствует о том, что сложный, негармонический характер вибраций вносит искажения в показания стрелочного прибора, что указывает на необходимость осторожного применения таких приборов при измерении вибраций с помощью электронной аппаратуры. При сложном характере вибраций более верными являются результаты обработки виброграмм перемещения, скорости и ускорения.

3. Измерение вибраций с помощью вибрографов типа ВР-1, применение которых допускается «Нормами...» [1], приемлемо только для ориентировочного определения вибраций с довольно большими амплитудами (не менее 0,02 мм). Расчетное определение амплитуд скорости и ускорения по кривым перемещения, записанным с помощью вибрографа, обязательно должно проводиться с учетом характера вибраций и при необходимости, когда вибрации точки замера имеют негармонический характер, должен быть проведен гармонический анализ кривой перемещения. В противном случае рассчитанные амплитуды скорости и ускорения будут весьма далеки от действительных и, как правило, всегда будут значительно занижены.

С этой точки зрения методика измерения и аппаратура, предлагаемые «Нормами...» [1], весьма несовершенны и не обеспечивают практической точности измерения, не позволяют правильно оценить действительные вибрации (можно даже сделать ложный вывод о их допустимости) и эффект виброизоляции и, следовательно, ограничивают применение самих норм. При исследовании и измерении вибраций на рабочих местах необходимо применять более сложную аппаратуру, обеспечивающую запись кривых перемещения, скорости и ускорения (как, например, та, которая применялась нами).

4. Принимая во внимание п. 2 выводов по измерениям вибраций на железобетонных заводах, можно заключить, что в «Нормах...» [1] должна быть сделана оговорка о допустимости или недопустимости действительных вибраций в том случае, когда они превышают нормы по одному или двум параметрам. Весьма желательным было бы и указание в «Нормах...» того, какой параметр (когда и где) следует считать основным при оценке действительных вибраций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Временные санитарные правила и нормы по ограничению вибраций рабочего места (утверждены Главной госсанинспекцией СССР 17 февр. 1959 г.; № 280—59). Справочник по технике безопасности и промышленной санитарии, Судпромгиз, 1959.
2. Андреева-Галанина Е. Ц. Вибрация и ее значение в гигиене труда. Медгиз, 1956.
3. Технические условия проектирования фундаментов под машины с динамическими нагрузками. Инструкция СН-18-58.
4. Инструкция по проектированию и расчету виброизоляции машин с динамическими нагрузками и обсервования, чувствительного к вибрациям (И 204-55 МСПМХП). Москва, 1955.